



## Energibesparende biologisk proces til kvælstoffjernelse i spildevand

Vangsgaard, Anna Katrine; Gernaey, Krist; Sin, Gürkan; Mutlu, A. Gizem; Smets, Barth F.

*Published in:*  
Dansk Kemi

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Early version, also known as pre-print

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Vangsgaard, A. K., Gernaey, K., Sin, G., Mutlu, A. G., & Smets, B. F. (2012). Energibesparende biologisk proces til kvælstoffjernelse i spildevand. *Dansk Kemi*, 93(10), 16-18.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Energibesparende biologisk proces til kvælstoffjernelse i spildevand

Fuldstændig autotrof kvælstoffjernelse er en relativ ny proces til rensning af spildevand. Den viser stort potentiale for energieffektivisering i form af energibesparelse til beluftning i den biologiske behandling.

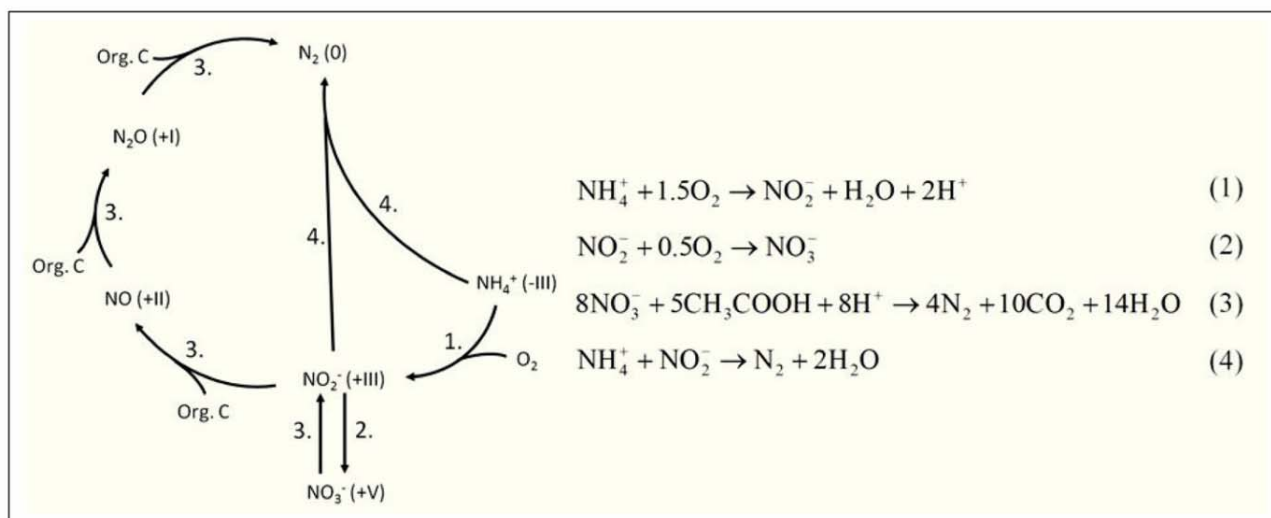
Af Anna Katrine Vangsgaard, Krist V. Gernaey, Gürkan Sin, DTU Kemiteknik og A. Gizem Mutlu, Barth F. Smets, DTU Miljø

For at realisere processens potentiale er der brug for en endnu bedre forståelse af de involverede mikrobiologiske processer, så passende styringsprocedurer kan udføres og implementeres.

Autotrof kvælstoffjernelse forbruger væsentlig mindre energi

end konventionel behandling. Dog skal en hurtigvoksende, iltforbrugende bakterie spille sammen med en langsomtvoksende, iltfølsom bakterie, hvilket gør det til en udfordring at styre og optimere denne proces.

Forholdet mellem ilt- og kvælstoftilførsel frem for forholdet mellem koncentrationerne virker lovende som en styringsparameter til en robust drift af denne spildevandsbehandlingsproces.



Figur 1. Biologiske kvælstofomsætninger. 1. oxidation af ammonium til nitrit af AOB, 2. oxidation af nitrit til nitrat af NOB, 3. denitrifikation udført af HB og 4. anammoxprocessen af AnAOB.



## Konventionel vs. fuldstændig autotrof kvælstoffjernelse

Konventionel biologisk kvælstoffjernelse består af autotrof nitrifikation og heterotrof denitrifikation. I nitrifikationen oxideres ammonium i to trin, udført af to forskellige bakterier:

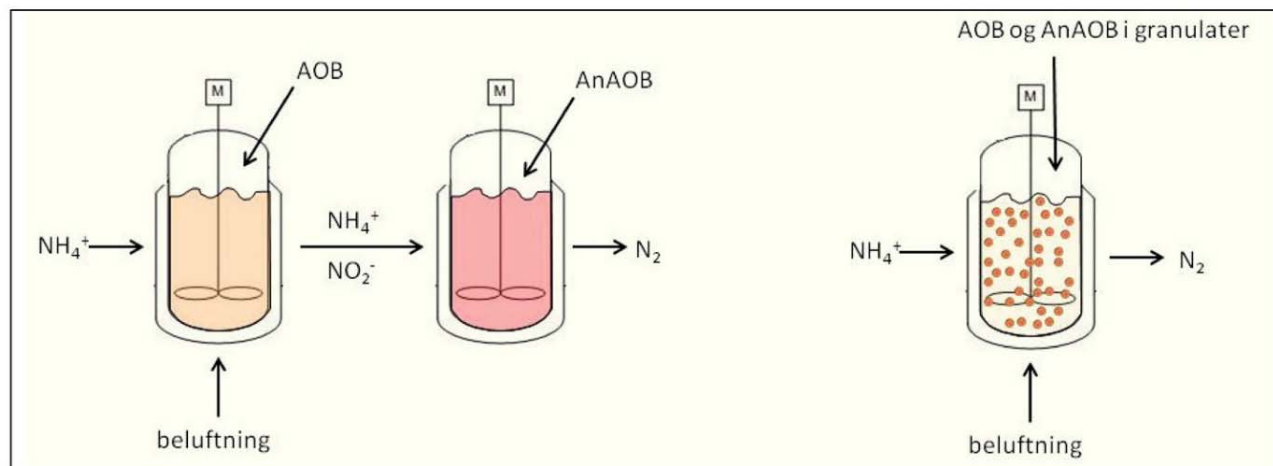
1. Ammonium omdannes af ammonium oxiderende bakterier (AOB) til nitrit.
2. Nitrit omdannes til nitrat af nitrit oxiderende bakterier (NOB).

Procesreaktionerne ses i figur 1 og i de tilhørende ligninger 1 og 2.

Nitraten reduceres herefter til frit kvælstof ( $\text{N}_2$ ) af heterotrofe bakterier (HB) (3).

Autotrof betyder, at bakterierne selv kan fikse det kulstof de har brug for til opbygning af nye celler fra atmosfæren. I fuldstændig autotrof kvælstoffjernelse udnyttes en relativ nyopdaget bakterie, som har den evne, at den kan oxidere ammonium med

NOB nede, da de er gode til at konkurrere med AOB om ilt og med AnAOB om nitrit. Megen forskning har haft fokus på delvis nitrifikation til nitrit, da dette processtrin også kan udnyttes i konventionel behandling i form af den såkaldte "short-cut"



Figur 2. To-reaktor-konfiguration (til venstre) og en-reaktor konfiguration af den autotrofe kvælstoffjernelsesproces (til højre).

nitrit (i stedet for ilt) som elektron acceptor (4). Denne proces benævnes anaerob ammonium oxidation, også kaldet anammox, og bakterierne kaldes anaerob ammonium oxiderende bakterier (AnAOB). De blev opdaget i slutningen af 1980'erne [1].

Fuldstændig autotrof kvælstoffjernelse består altså af delvis nitrifikation til nitrit kombineret med anammoxprocessen.

### Fordele

Fordelen ved denne proces frem for den konventionelle er først og fremmest en høj energibesparelse i driften. Kun ca. halvdelen af alt ammonium i spildevandet skal oxideres og kun til nitrit. Derfor reduceres beluftningsbehovet med ca. 60%. Processen behøver heller ikke tilførsel af en ekstern kulstofkilde, såsom ethanol eller methanol, som ellers ofte er nødvendig i konventionel behandling, og som bidrager til omkostningerne.

Bl.a. pga. deres autotrofe natur har både AOB og AnAOB et lavt vækstudbytte, hvilket medfører en mindre biomasseproduktion pr. gram kvælstof, der fjernes. Det er ønskeligt, da behandling af slam (biomasse) også udgør en væsentlig del af driftsomkostningerne i spildevandsbehandling. Sidst men ikke mindst har disse bakterier vist sig at kunne håndtere høje belastninger og kunne omsætte relativt store mængder kvælstof (ca. 1 kgN/m<sup>3</sup>/d) ift. konventionel behandling (ca. 0,1 kgN/m<sup>3</sup>/d). Processen er derfor velegnet til behandling af spildevand, der indeholder høje kvælstofkoncentrationer og lave koncentrationer af organisk kulstof. Et eksempel på dette er rejeckt vand fra biogasanlæg brugt til slambehandling.

### Ulemper

Der findes selvfølgelig også visse ulemper ved denne proces. Bl.a. vokser AnAOB forholdsvis langsomt. Visse arter har vist sig at have en fordoblingstid på ca. 10 dage, hvilket er lavt ift. andre bakterier, som typisk har fordoblingstider på mindre end 1 dag. Der har derfor været meget fokus på opstarten af reaktorer, som anvender denne proces, og at prøve på at nedbringe længden af opstartsfasen, der kan vare fra måneder til sågar år [2].

Herudover har det været vanskeligt at holde bestanden af

nitrifikation/denitrifikation. Forskellige operationelle forhold såsom temperatur, pH og iltkoncentration kan bruges til at favorisere AOB-vækst frem for NOB-vækst.

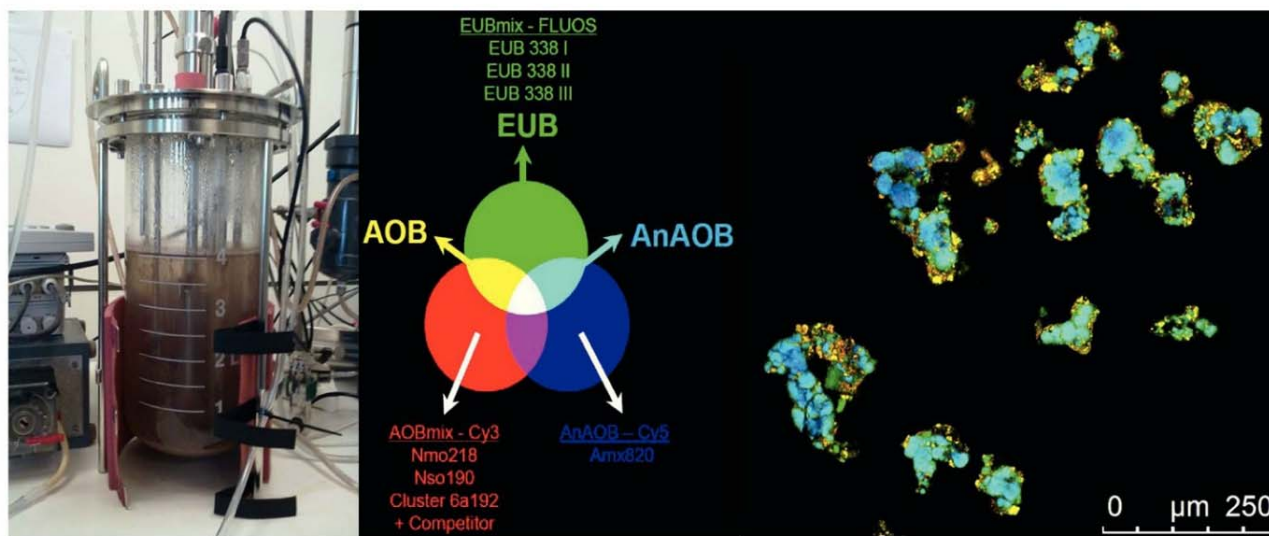
## Intelligent Chemistry

Gilson Trilution LC-MS Purification  
Gilson PLC2020 Personal LC  
Genevac Rocket Evaporator  
Radley ReactorReady



Biolab A/S  
Sindalsvej 29  
DK-8240 Risskov  
Telefon 8621 2866  
Telefax 8621 2301  
E-mail: sales@biolab.dk





Figur 3. Laboratorieskala setup af en biofilmreaktor med granulater (til venstre). Bakteriegranulater fra lab-skala reaktor identificeret med fluorescerende genprober, som tydeligt viser AnAOB-kolonier omgivet af et tyndere lag AOB (til højre).

### Reaktor-konfigurationer

Det som gør denne proces interessant, men også svær at styre, er at de to bakteriegrupper, som står for de to trin, kræver vidt forskellige vækstbetingelser. AOB bruger ilt som substrat, hvorimod AnAOB bliver hæmmet af ilt. Hele processen kan derfor foretages i et to-reaktor-system, hvor forholdene optimeres for de to bakteriegrupper i hver deres reaktor (figur 2).

De første implementeringer af processen i fuldskala var i

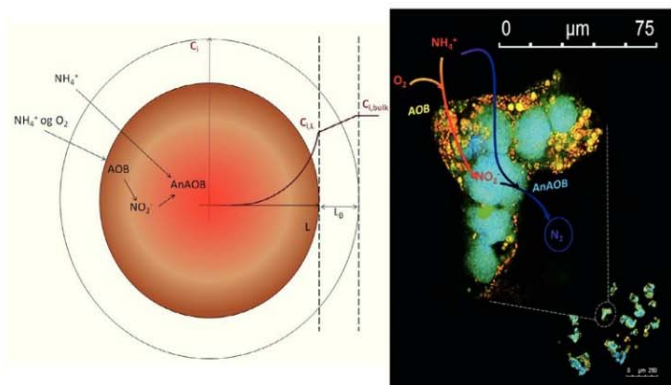
### Perspektiver

I et tværfagligt projekt på DTU undersøger vi processen i en reaktor med biomassegranulater (figur 3, venstre). Vi benytter både molekulære metoder til bestemmelse og kvantificering af bakterierne (figur 3 og 4, højre) [4] samt anvender numeriske modelleringsværktøjer til analyse, optimering og regulering af processen. Vha. matematiske simuleringer har det vist sig, at forholdet mellem ilt- og kvælstoftilførsel frem for forholdet mellem ilt- og kvælstofkoncentrationer er en robust parameter til sikring af en god styring af processen [5].

Anlæg, der benytter sig af denne proces, skyder op flere og flere steder. Der findes flere anlæg i Holland, som primært er bygget af de hollandske firmaer Paques og Grontmij, og i Sverige, bl.a. i Malmø, hvor et stort anlæg er blevet bygget af Veolia/Krüger/AnoxKaldnes. Denne proces er ligeledes på vej i Danmark, og et anlæg er under indkøring i Holbæk Forsyning, mens et andet starter i Grindsted i løbet af få uger. Begge projekter bliver udført af Veolia/Krüger/AnoxKaldnes.

E-mail-adresse:

Anna Katrine Vangsgaard: akv@kt.dtu.dk



Figur 4. Simplificeret positionering af de autotrofe bakterier i et granulat samt et eksempel på en substratkoncentrationsgradient inden i granulatet (til venstre). Til højre ses et billede af et granulat med bakterier farvet med fluorescerende genprober.

denne konfiguration og blev startet i Holland i 2002-2004 [2]. Alternativt kan dette system energioptimeres ved at køre begge processer i samme reaktor. Det kan lade sig gøre i biofilmsystemer, såsom granulater, på "biofilm carriers" eller i membran-beluftede reaktorer [3]. Pga. massetransportmodstand vil bakterierne arrangere sig således, at de iltforbrugende AOB vokser på ydersiden af biofilmen, tæt på væskefasen hvor iltten tilføres. Samtidig vokser de iltfølsomme AnAOB på indersiden, hvor der er iltfrit og tilgang til nitrit produceret af AOB (figur 3 og 4).

### Referencer

1. Kuenen, J.G. 2008, "Anammox bacteria: from discovery to application", Nature Reviews Microbiol., vol. 6, no. 4, pp. 320-326.
2. van der Star, W.R.L., Abma, W.R., Blommers, D., Mulder, J.W., Tokutomi, T., Strous, M., Picoreanu, C. & van Loosdrecht, M.C.M. 2007, "Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam", Water Res., vol. 41, no. 18, pp. 4149-4163.
3. Pellicer-Nacher, C., Sun, S., Lackner, S., Terada, A., Schreiber, F., Zhou, Q. and Smets, B.F.. 2010. Sequential aeration of membrane-aerated biofilm reactors for high-rate autotrophic nitrogen removal: Experimental demonstration Environ. Sci. Technol. 44: 7628-7634
4. Mutlu, A. G., Vangsgaard, A. K., Jensen M. M., Smets B. F. Architecture evolution of biomass aggregates in single stage nitrification/anammox reactors. 14<sup>th</sup> International Symposium on Microbial Ecology - ISME14. 19-24 August, 2012. Copenhagen, Denmark
5. Vangsgaard, A.K., Mauricio-Iglesias, M., Gernaey, K.V., Smets, B.F. & Sin, G. (2012). Sensitivity analysis of autotrophic N removal by a granule based bioreactor: Influence of mass transfer versus microbial kinetics. Bioresource Technol., (2012), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.087>